

EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD EN LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN COLOMBIA

D. Carlos Giraldo

D. César Bedoya

D. Luis Alonso

Universidad Politécnica de Madrid

Resumen

El cambio climático se perfila como el problema ambiental más trascendente de este siglo y uno de los mayores desafíos globales a los que se enfrenta la humanidad (IPCC, 2007). Asimismo, las Naciones Unidas (UN, 1992), reconocen la preocupación por el calentamiento global provocado por el continuo aumento en la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, en sus siglas en inglés) destacó que, los edificios representaban el 32% del consumo de energía del total mundial y el 19% de las emisiones GEI.

El uso de la energía y las emisiones asociadas se pueden duplicar o incluso triplicar potencialmente a mediados de este siglo, debido a varias tendencias clave; una de las más importantes, es el acceso de millones de personas, en los países en vías de desarrollo, a una adecuada vivienda, al servicio de electricidad, y al avance en la tecnología usada en las instalaciones de la cocina (Lucon et al, 2014) (Buildings.In: Climate Change: Mitigation of Climate Change, 2014).

Las aglomeraciones urbanas en América Latina se desarrollan en varias ciudades densamente pobladas, la mayoría de esta población, no tiene una vivienda digna. Colombia es un claro ejemplo de esta situación, donde es un hecho el desarrollo de proyectos habitacionales masivos según el gobierno de Colombia, y el consumo intenso de materiales y energía para la construcción de viviendas.

En el año 2013 el Gobierno de Colombia propuso la meta de un millón de viviendas en cuatro años, apoyada en la estrategia de producción masiva de vivienda nueva y en macro-proyectos de Vivienda de Interés Social (V.I.S).

Las VIS construidas en Colombia, generalmente no tienen en cuenta el uso sostenible de los recursos naturales para su diseño, construcción y posterior uso u operación. Además la influencia del déficit habitacional, hacen necesario identificar el impacto medioambiental. Esto

es, reconocer, cuantificar y evaluar tanto los sistemas constructivos utilizados como la cantidad de emisiones generadas en cada etapa del proceso (Bedoya M, 2011).

Para medir estas prestaciones, dentro de los métodos disponibles está el de la simulación informática. En esta investigación se utiliza el programa de simulación energética DesignBuilder (DB) para calcular la eficiencia energética, evaluar las condiciones interiores de confort y la sostenibilidad en la vivienda de interés social en Colombia.

Hoy en día existe una intención por parte del sector de la construcción mundial, enfocada a la eficiencia energética en los edificios (EEB, en sus siglas en inglés). En Colombia, recientemente, se creó la Ley 1715 de 2014, cuyo objeto es “promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema nacional (...)”.

No obstante, en Colombia existen unas fuertes deficiencias en políticas y desarrollos hacia la eficiencia energética y sostenibilidad, “La construcción de vivienda urbana en Colombia, a lo largo de un siglo no muestra la inclusión de criterios o conceptos de gestión ambiental, significativos o vinculantes a través de políticas públicas específicas” (Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana, 2012).

Esta ponencia busca demostrar que la evaluación de la eficiencia energética y sostenibilidad de las VIS en Colombia, plantea una solución viable para reducir su consumo de energía y sus emisiones asociadas de GEI, garantizando viviendas sostenibles, integrando el desarrollo económico con el contexto ambiental y social, posibilitando la construcción de viviendas que disminuyan los gastos de sus habitantes, y que permitan a población que accede a este tipo de viviendas, encontrar un punto de equilibrio en su presupuesto, de modo que logren realmente al mejoramiento de su calidad de vida.

Palabras clave: *vivienda de interés social; gases de efecto invernadero; eficiencia energética en la edificación; sostenibilidad; simulación energética; design builder*

Área temática: *Actuaciones sostenibles en la edificación*

Abstract:

Climate change is emerging as the most significant environmental problem of this century and one of the biggest global challenges facing humanity (IPCC, 2007). In addition, the United Nations recognizes the concern about global warming caused by the continuous increase in the concentration of greenhouse gases of anthropogenic origin in the atmosphere. The Intergovernmental Panel on Climate Change stressed that buildings represent 32% of energy consumption of the world total and 19% of GHG emissions.

The energy use and associated emissions can potentially double or even triple by mid-century, due to several key trends. One of the most important is access to billions of people in developing countries to adequate housing, electricity service, and advances in the technology used in the kitchen facilities.

Conurbations in Latin America are developed in several densely populated cities; most of this population does not have adequate housing. Colombia is a clear example of this situation, which is a fact the development of mass housing projects, and the intense consumption of materials and energy for social housing.

In 2013, the Government of Colombia proposed the goal of one million houses in four years, based on the strategy of mass production of new housing and macro-projects in social housing (V.I.S).

The social housing built in Colombia; generally do not take into account the sustainable use of natural resources for its design, construction and subsequent use or operation. Social Housing construction is related to population growth, their action to meet demand and the influence of the housing shortage makes it necessary to identify the environmental impact. That is, recognize, quantify and evaluate both the building methods used and the amount of emissions generated at each stage of the process. To measure these benefits within the available methods is that of computer simulation. In this research, the software used DESIGNBUILDER, for calculating energy efficiency; evaluate the internal conditions of comfort and sustainability in social housing in Colombia.

Today there is an intention on the part of the global construction industry, focusing on energy efficiency in the building sector (EEB). In Colombia a law was recently created, (1715 of 2014), which aims to "promote the development and use of non-conventional energy sources, especially those from renewable sources in the national system (...)".

However, in Colombia there are strong deficiencies in policies and developments towards energy efficiency and sustainability, "The construction of urban housing in Colombia, over a century does not show the inclusion of environmental criteria or concepts, significant or binding management through specific public policies".

This paper seeks to demonstrate that the evaluation of energy efficiency and sustainability of the VIS in Colombia proposes a viable solution to reduce their energy consumption and associated GHG emissions, ensuring sustainable housing, integrating economic development with environmental and social context, allowing the construction of housing to decrease the cost to its inhabitants, and to enable the majority of the population accessing such housing,

finding a balance in your estimate, so that really achieve the improvement of their quality of life.

1. Introducción

Aunque en Colombia se ha tratado a través de los años de incorporar leyes, estatutos y mandatos que nos acerquen a una tendencia mundial de sostenibilidad, eficiencia energética y políticas medio ambientales, no es una realidad hoy, sobre todo en el campo del diseño, la construcción y la vivienda, debido a diversos factores, por ejemplo: los proyectos habitacionales masivos en Colombia.

En estos proyectos se prioriza la masificación de construcción de viviendas a gran escala sin tener en cuenta aspectos fundamentales como el confort climático y la sostenibilidad de dichas viviendas a lo largo de los años para albergar a personas de más escasos recursos. Estas personas en muchos casos acceden a las viviendas pero después no pueden afrontar el pago de una factura de consumo energético elevada.

Colombia tiene un déficit de 1'200.000 viviendas y disminuir esta cifra de manera radical es una de las metas del gobierno en la actualidad. Es un reto ambicioso que busca construir un millón de unidades habitacionales en cuatro años.

Debido a que miles de personas en Colombia tendrán acceso en los próximos años a una adecuada vivienda, no cabe duda la importancia que tiene para la arquitectura y el sector de la construcción investigar la eficiencia energética, sus emisiones asociadas y la sostenibilidad de los proyectos habitacionales masivos que se construirán.

2. Objetivos

El objetivo general de esta comunicación es la evaluación de la Eficiencia energética y sostenibilidad de las viviendas de interés social en Colombia a través de Un método práctico utilizando medios científicos (informáticos) de simulación energética con el fin de evaluar las condiciones interiores de confort y optimizar el uso de la energía.

Esta comunicación, además del objetivo general anteriormente mencionado, dispone de una serie de objetivos específicos más concretos que se exponen a continuación:

- Cuantificar la cantidad de energía consumida, calculada, anualmente para el prototipo de vivienda de interés social en la ciudad de Cali, Colombia.
- Implementar la metodología del cálculo de la eficiencia energética para la vivienda de interés social, a través de programas informáticos como DESIGN BUILDER.

- Implementar la metodología del cálculo de la eficiencia energética para viviendas de interés social (VIS) en Colombia.
- Evaluar los aspectos socio-económicos de la vivienda de interés social a través de una cuantificación económica de las medidas propuestas, identificando oportunidades para el ahorro de costes de la eficiencia energética de las viviendas.

3. Metodología

En disciplinas como la arquitectura y la ingeniería de la construcción, existe una necesidad cada vez mayor de emplear software para realizar análisis específicos de variables esenciales como: el componente ambiental, el confort, la iluminación, la sostenibilidad y costos, entre otras que hechos de otra forma serían lentos y poco precisos. Autores como Clarke (2015), resaltan el impulso mundial hacia un entorno construido sostenible que plantea retos para los profesionales. Estos se derivan de la necesidad de reducir el consumo de energía en los edificios, integrar los suministros de energías limpias y mitigar los impactos ambientales, a la vez que se satisfacen las expectativas para el bienestar humano y el crecimiento económico.

Esto respalda la utilización de estos programas informáticos en la investigación, pero es indispensable saber cuáles son los más adecuados para el análisis que pretendemos realizar y la investigación específica por lo cual se requieren dichas herramientas. La decisión tomada para el uso de dichas herramientas en el caso de esta investigación se basa en algunos autores como: Crawley (2008), que han realizado estudios en esta dirección, evaluando y comparando los diferentes programas, y analizando las prestaciones y la obtención de resultados más eficiente en cada uno de ellos.

En consecuencia, para esta investigación se realizaron simulaciones energéticas con el fin de evaluar las condiciones interiores de confort, optimizar el uso de la energía, y la sostenibilidad de las V.I.S, a través de la visualización de datos y análisis informáticos de dinámica de fluidos (CFD, en sus siglas en inglés). Según Chowdhury (2010), el CFD Interno se utiliza para evaluar la capacidad de confort térmico al interior de una vivienda. Externamente el CDF está diseñado para predecir el flujo del aire y la distribución de la temperatura en los alrededores de los edificios (Fig. 1).

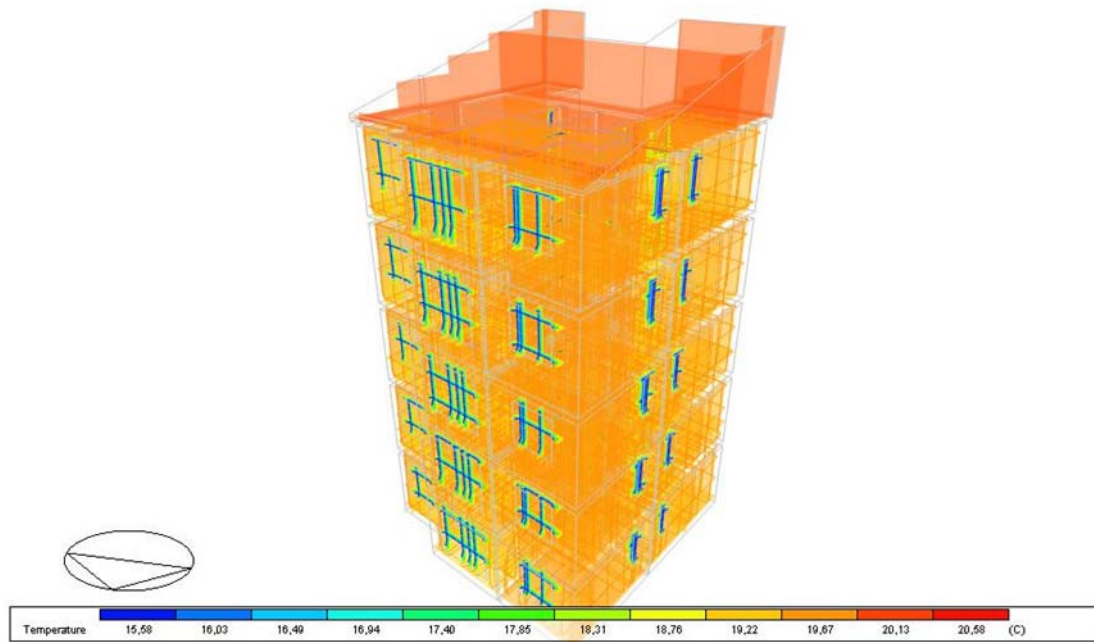


Figura 1: Imagen de CFD externo e interno del modelo básico V.I.S. Elaborada en la presente investigación.

En las Figuras 1 y 2 se expone un ejemplo de modelización de la vivienda V.I.S, que fue modelada en el marco de esta investigación, en el software Design Builder (Fig. 2). Se modeló un volumen simplificado del edificio, para un mejor control de la simulación. Para ello se eligió la modelización del edificio agrupándolo en sus diferentes zonas térmicas, lo cual puede ayudar a simplificar el modelo y hacer más rápidos los procesos de cálculo y simulación.



Figura 2: Modelizado realizado en el marco de la presente investigación del Edificio de viviendas VIS, caso de estudio en el programa Design Builder.

En la metodología, estos análisis se proyectaron para dos tipos diferentes de edificio V.I.S; el primero con los materiales propuestos por los urbanizadores de las V.I.S: muros prefabricados en hormigón reforzado de 8 cm de espesor, entrepisos en placas prefabricadas de hormigón

reforzado de 10 cms, huecos acristalados con vidrio incoloro sencillo, sin ningún tipo de protección solar. Mientras que al segundo edificio V.I.S se le incorporó algunas estrategias de diseño bioclimático muy elementales como:

- La orientación óptima de muros, masas y demás elementos captadores de energía solar, para un clima cálido-húmedo como es el caso de Cali-Colombia.
- Protecciones del hueco acristalado: correcta protección frente a la radiación solar.
- Uso adecuado de colores en cubiertas, fachadas y suelos.
- Uso de aislamiento térmico en muros, para aumentar la inercia térmica del edificio.
- Control de la ventilación natural. Uso de tecnologías apropiadas.

En ambos casos se analizaron los datos climáticos de Cali-Colombia con el fin de identificar las horas críticas, temperatura máxima y mínima del día, etc. Posteriormente se hicieron las simulaciones a lo largo del año en intervalos horarios y se analizaron y compararon los resultados obtenidos.

3.1 Caso de estudio

3.1.1 Características de la vivienda de interés social (V.I.S):

Siguiendo la definición del gobierno de Colombia, una Vivienda de Interés Social (**V.I.S**), es la Unidad habitacional que cumple con los estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción y cuyo valor va desde los **\$45.104.500 PESOS COLOMBIANOS, \$15.770 EUROS** a los **\$86.987.250 PESOS COLOMBIANOS, \$30.415 EUROS**.

El estudio de caso elegido para la presente investigación ha sido el de una **VIS** en Cali-Colombia. Las unidades familiares del proyecto son de 3 integrantes como mínimo. Dispone de una alta densidad de ocupación ya que la construcción tiene 5 pisos de alto y 200 unidades de vivienda por hectárea, el proyecto además comprende, la distribución de bloques, las áreas públicas y los equipamientos.

3.1.2 Descripción de los bloques de apartamentos (pisos).

A continuación se realiza una rápida definición del caso de estudio: Tal y como se muestra en las figuras 3 y 4, Cada sector está conformado por bloques de 4 torres. Cada torre de apartamentos consta de 4 apartamentos por piso, con su respectivo punto fijo, tienen 5 pisos de altura, para un total de 20 apartamentos por torre.



Figura 3: Área de intervención, implantación bloques tipo. Fuente: Ciudadela Recreativa El Pondaje y Charco Azul – Alcaldía de Santiago de Cali, Colombia, 2015.



Figura 4: Planta bloque tipo-apto o piso tipo Fuente: Fuente: Ciudadela Recreativa El Pondaje y Charco Azul – Alcaldía de Santiago de Cali, Colombia, 2015.

Los apartamentos tipo tienen un área construida de 46.00 m².

MATERIALES (V.I.S): Los materiales principales de muros son prefabricados en hormigón reforzado de 8 cm de espesor, sin acabado. Los forjados se han realizado en hormigón reforzado, de 10 cm de espesor.

Acristalamientos: Las ventanas de la V.I.S son batientes con marco metálico (sin cámaras) y vidrio sencillo incoloro.

4. Ensayos realizados

Con respecto a la determinación de los dos modelos para el desarrollo de las simulaciones, se hicieron las configuraciones a partir de los componentes del edificio: estructura, envolvente, huecos acristalados, cubierta, y de los materiales de la V.I.S.

Los ensayos realizados a través de las simulaciones informáticas permitieron la visualización de datos energéticos relacionados con la VIS, estos datos permiten la comparación de resultados de los dos casos de estudio desde la perspectiva de la eficiencia energética, confort y sostenibilidad.

Una vez realizados los ensayos y comparado los resultados de la VIS, se evaluó el comportamiento energético del edificio cualitativamente y cuantitativamente, y se sacaron las conclusiones respectivas para la validación de la hipótesis.

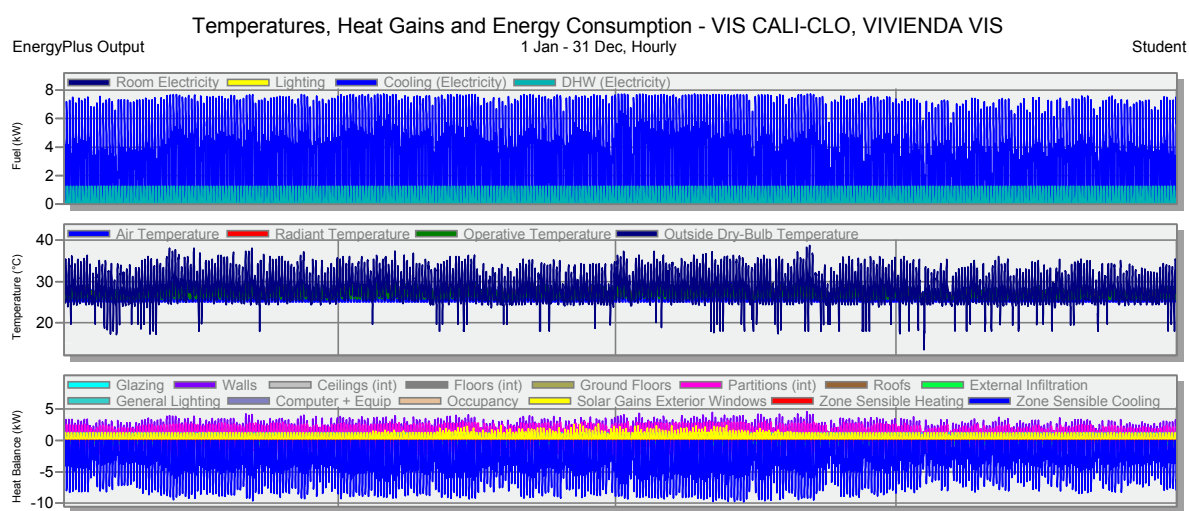


Figura 5: Temperaturas, ganancias energéticas y consumos energéticos en la vivienda tipo V.I.S. estándar Cali-Colombia. Gráfica obtenida mediante la simulación con el programa.

4.1 Resultados

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos por los dos modelos simulados.

4.1.1. Caso 1: Modelo VIS sin mejoras bioclimáticas:

Las simulaciones realizadas sobre el modelo básico inicial sin ninguna configuración ni mejora bioclimática de su diseño, proyectaron temperaturas por encima de la temperatura de bienestar, como muestra la tabla 1:

| Mes | Ene | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Air temperature (°C) | 27,61 | 28,10 | 28,05 | 28,33 | 28,13 | 28,14 | 28,63 | 28,46 | 28,00 | 27,51 | 27,55 | 27,48 |
| Radiant temperature (°C) | 28,90 | 29,77 | 29,66 | 30,14 | 29,72 | 29,76 | 30,53 | 30,25 | 29,53 | 28,76 | 28,76 | 28,72 |
| Operative temperature (°C) | 28,25 | 28,93 | 28,85 | 29,24 | 28,93 | 28,95 | 29,58 | 29,35 | 28,76 | 28,14 | 28,16 | 28,10 |
| Outside Dry-Bulb temperature (°C) | 28,12 | 29,58 | 29,03 | 29,50 | 28,15 | 27,98 | 29,49 | 28,75 | 28,39 | 27,60 | 27,81 | 28,02 |

Tabla 1: Simulaciones realizadas de las temperaturas interiores del edificio. Se puede observar que las temperaturas se encuentran por encima del bienestar (marcadas en rojo), en Cali-Colombia para dos tipos de arropamiento del usuario interior (1,00 clo y 0,75 clo) según las estaciones seca y lluviosa, en la vivienda tipo V.I.S estándar.

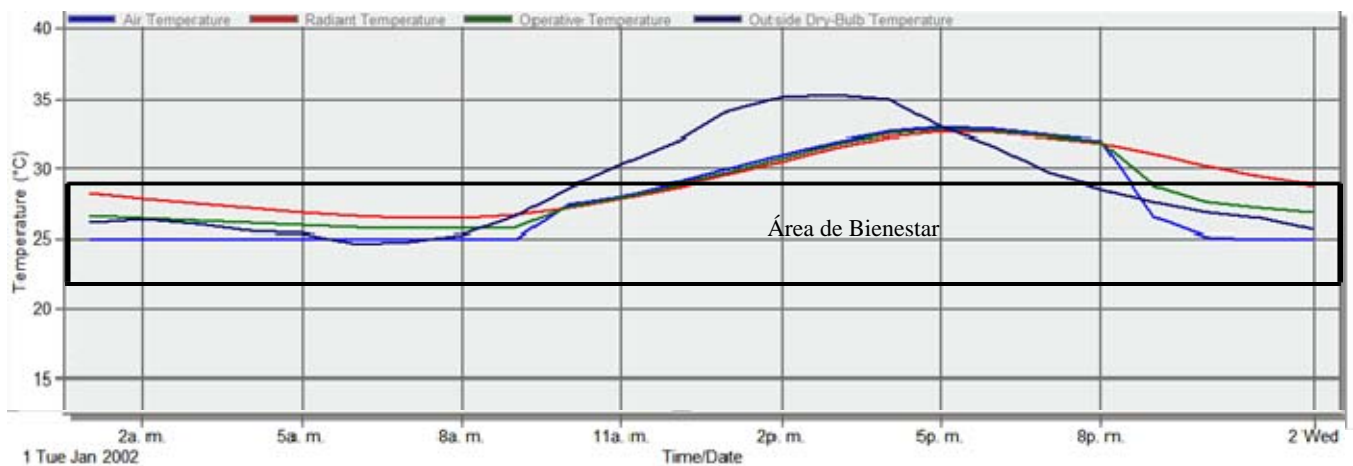


Figura 6. Simulaciones realizadas de las temperaturas interiores del edificio. Temperaturas por encima del bienestar en Cali-Colombia, en la vivienda tipo V.I.S. estándar. FUENTE: Elaboración propia por medio de resultados en DB.

La temperatura radiante media se puede establecer a partir de la temperatura de todas las superficies interiores del recinto (forjados, paredes y techo), y sorprende que durante 10 meses del año esta temperatura se encuentra fuera de la zona de confort. Por otro lado, *la temperatura operativa* representa el valor medio de la temperatura seca del aire y la temperatura radiante media dentro de un recinto, suele representar de manera más fidedigna la temperatura "sentida" por una persona en el interior de un recinto, y se verifica que durante 8 meses del año, esta temperatura se encuentra fuera de los márgenes de confort para este tipo de viviendas.

A continuación se profundiza en la exposición de estos resultados.

Bienestar y Confort higrotérmico: Para la ciudad de Cali-Colombia, y para esta investigación se establece una temperatura de bienestar según la siguiente tabla:

| DATOS CLIMÁTICOS | | | | CLIMOGRAMAS | | |
|------------------|--------------------------------------|----------------------|-------|----------------------|-------------------|---------------------------------------|
| MESES | Hr y T ^a MEDIAS MENSUALES | | | T ^a MEDIA | ARROPAMIENTO | T ^a BIENESTAR |
| (unidades) | T ^a m máx | T ^a m min | Hr m | (entre máx y min) | (CORRECCIONES) | T ^a máx T ^a min |
| enero | 32,10 | 16,70 | 72,00 | 24,4 | | |
| febrero | 32,10 | 16,90 | 71,00 | 24,5 | 1,00 clo | 27,6 22,1 |
| marzo | 32,70 | 17,00 | 72,00 | 24,9 | | |
| abril | 32,00 | 16,90 | 74,00 | 24,5 | | |
| mayo | 31,40 | 17,20 | 75,00 | 24,3 | 0,75 clo (+1,5°C) | 29,1 23,6 |
| junio | 31,90 | 16,80 | 74,00 | 24,4 | | |
| julio | 32,50 | 15,40 | 70,00 | 24,0 | | |
| agosto | 33,00 | 15,60 | 70,00 | 24,3 | | |
| septiembre | 32,50 | 16,50 | 71,00 | 24,5 | | |
| octubre | 31,50 | 16,40 | 75,00 | 24,0 | | |
| noviembre | 30,90 | 16,70 | 75,00 | 23,8 | | |
| diciembre | 31,20 | 16,50 | 74,00 | 23,9 | | |

Tabla 2: Temperatura de bienestar en Cali-Colombia para dos tipos de arropamiento (1,00 clo y 0,75 clo) realizado en el marco de esta investigación según las estaciones seca y lluviosa, en las viviendas tipo V.I.S

Tal y como se muestra en la gráfica, las zonas analizadas, se encuentran fuera del área de bienestar la mayor parte del día; desde las 10:00 AM hasta las 9:00 PM, prácticamente 11 horas al día, como se observa en la Figura 5, esto es debido a diferentes factores como: las ganancias internas manifiestas en la temperatura radiante de los cerramientos y la radiación solar a través de las ventanas como lo muestra la Figura 7:

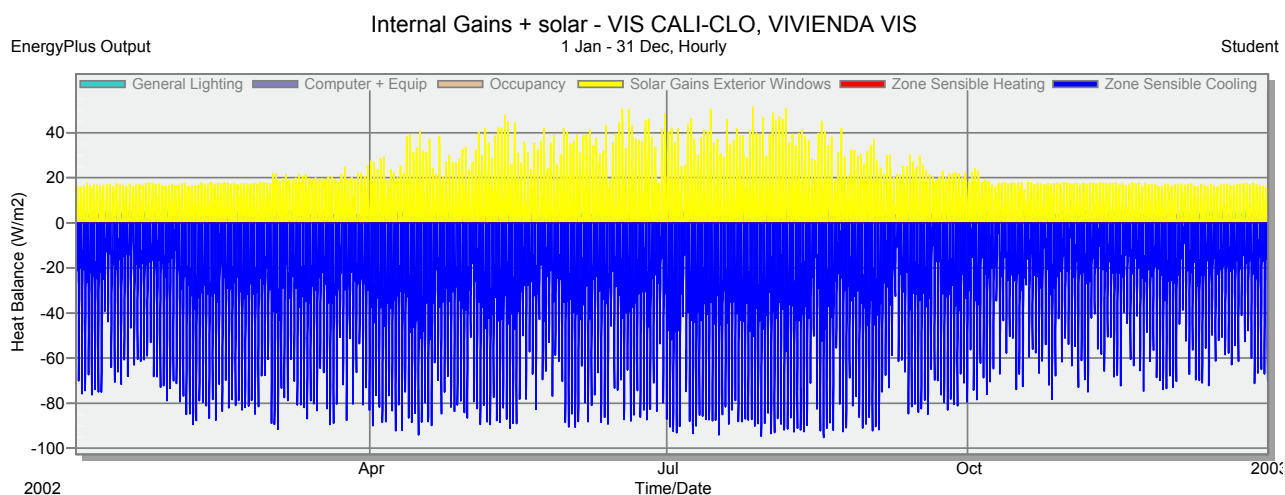


Figura 7. Ganancias internas a través de la irradiación solar por las ventanas mensual, en la vivienda tipo V.I.S. estándar. Gráfica obtenida mediante la simulación con el programa Design Builder.

En la Figura 7 se muestra el balance energético a través de las estructuras arquitectónicas de la V.I.S estándar, observando que las mayores ganancias internas de calor se presentan en los muros:

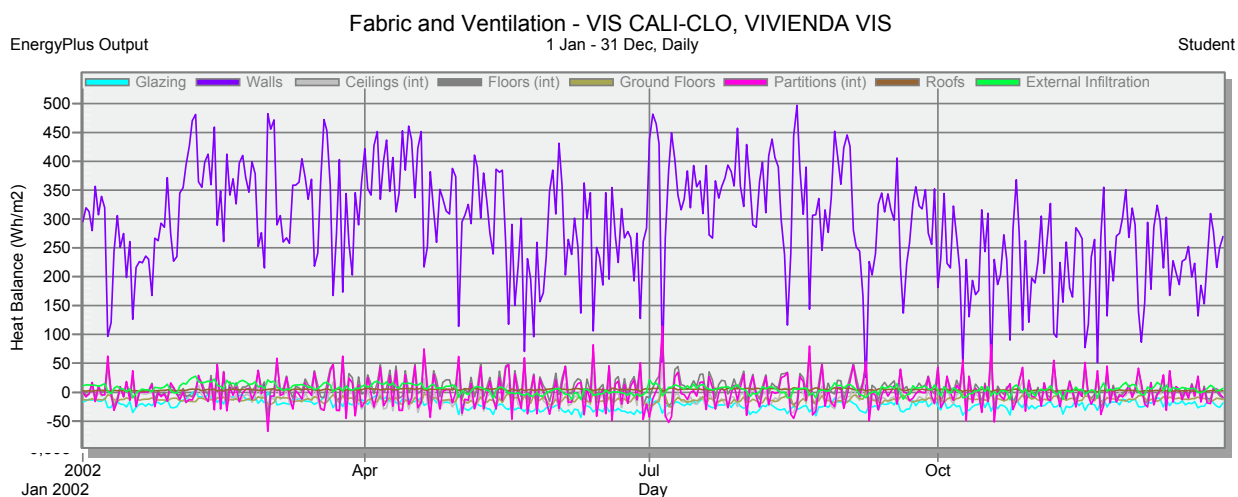


Figura 8. Balance energético a través de las estructuras arquitectónicas, en la vivienda tipo V.I.S. estándar. Gráfica obtenida mediante la simulación con el programa Design Builder.

La Figura 8 muestra que los muros prefabricados en hormigón reforzado de 8 cms de espesor tienen absorción térmica alta, lo que genera el aumento de la temperatura en el interior de la V.I.S.

Para ahondar en el problema, la Tabla 3 evidencia una alta demanda energética por necesidad de enfriamiento debido al excesivo calor al interior de las viviendas.

| Mes | Ene | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Room Electricity (kWh) | 213,10 | 192,48 | 213,10 | 206,23 | 213,10 | 206,23 | 213,10 | 213,10 | 206,23 | 213,10 | 206,23 | 213,10 |
| Lighting (kWh) | 146,69 | 132,50 | 146,69 | 141,96 | 146,69 | 141,96 | 146,69 | 146,69 | 141,96 | 146,69 | 141,96 | 146,69 |
| Cooling (Electricity) (kWh) | 2753,03 | 3181,60 | 3416,52 | 3718,43 | 3316,46 | 3214,70 | 4000,56 | 3600,92 | 3039,25 | 2639,08 | 2468,83 | 2468,03 |
| DHW (Electricity) (kWh) | 336,25 | 303,71 | 336,25 | 325,41 | 336,25 | 325,41 | 336,25 | 336,25 | 325,41 | 336,25 | 325,41 | 336,25 |

Tabla 3: Proyección consumos de electricidad por necesidad de enfriamiento mensual, en la vivienda tipo V.I.S. estándar, realizado en el marco de esta investigación.

Las altas temperaturas al interior de las viviendas V.I.S estándar, y su mala calidad de aire interior: renovaciones de aire por hora (ACH, en sus siglas en inglés), tal y como se aprecia en la Tabla 4, Hacen necesario la utilización diaria de medios mecánicos de climatización artificiales afectando principalmente la economía y el confort térmico de sus habitantes.

| Hora | 1:00 | 2:00 | 3:00 | 4:00 | 5:00 | 6:00 | 7:00 | 8:00 | 9:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 | 0:00 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Mech Vent+Nat Vent+ Infiltration (ac/h) | 1 | 1,00 | 1,00 | 1,01 | 1,01 | 1,01 | 1,01 | 0,85 | 0,77 | 0,70 | 0,70 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,70 | 0,70 | 0,71 | 0,71 | 0,70 | 0,70 | 0,77 | 0,93 |

Tabla 4: Cambios de aire por hora (ac/h), en la vivienda tipo V.I.S. estándar realizado en el marco de esta investigación

Por otro lado, el alto consumo energético implica un aumento de las emisiones GEI asociadas, tal y como lo muestra la tabla 5, aunque es necesario profundizar más en esta cuestión debido a que la principal fuente de energía en Colombia son las hidroeléctricas que son mecanismos relativamente limpios de emisiones GEI particularmente CO₂.

| Meses | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
|----------------------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|
| CO ₂ (Kg) | 2362,62 | 2610,05 | 2817,114 | 3008,539 | 2748,568 | 2663,485 | 3217,182 | 2943,428 | 2543,3 | 2284,565 | 2152,563 | 2290,698 |

Tabla 5: Producción de CO₂, en la vivienda tipo V.I.S. estándar, realizado en el marco de esta investigación.

Los resultados en las simulaciones del módulo estándar de la V.I.S, se convierten en el punto de comparación con el estudio de caso 2, donde a las configuraciones de simulación se le aplican estrategias de diseño bioclimático en la búsqueda del confort térmico.

4.1.2. Caso 2: Modelo VIS con mejoras bioclimáticas:

En relación con la simulación de la configuración del edificio V.I.S empleando estrategias de diseño bioclimático se proponen 3 estrategias de refrigeración pasiva, con el fin de evaluar los resultados y compararlos con la simulación del edificio V.I.S estándar:

Desde el punto de vista energético, los elementos más débiles del edificio son los acristalamientos, no solo porque su coeficiente de transmisión de calor es necesariamente mucho mayor que el de un muro, sino, sobre todo, porque a través de ellos penetra la radiación solar casi sin ninguna reducción. En ese sentido, la primera estrategia bioclimática empleada será:

- Doble acristalamiento: Sustitución del cristal transparente sencillo en el edificio existente con vidrio de doble acristalamiento con transmitancia solar baja para reducir el calor transmitido.

Por otro lado las protecciones del hueco acristalado tienen como objetivo mejorar su comportamiento energético. La segunda estrategia bioclimática empleada será:

- Protecciones solares: Instalación de un dispositivo de sombreado en las ventanas, que tiene la intención de reducir la radiación solar directa.

El aislamiento, a pesar de no ser lo más adecuado contra la radiación solar, sí lo es contra la onda de calor que tiende a penetrar por conducción. La tercera estrategia bioclimática empleada será:

- Aislamiento térmico: Instalación de un aislante térmico interior con un material de baja conductividad térmica, ya que en las primeras simulaciones se mostró que los muros almacenan mucho calor, es necesario incorporar un material que mejore esta condición.

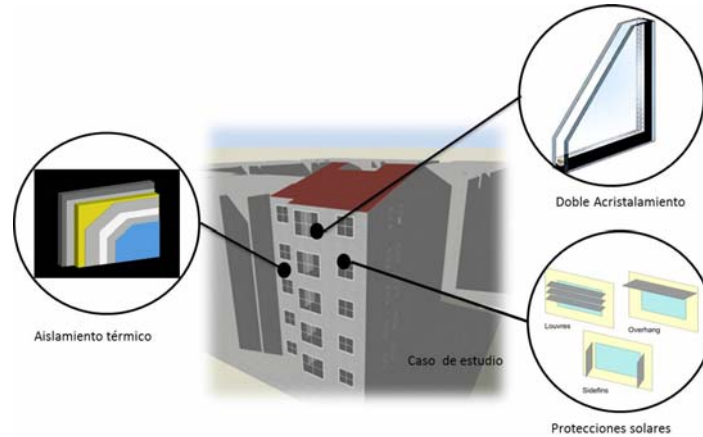


Figura 9. Estrategias de diseño bioclimático, en la vivienda tipo V.I.S. FUENTE: propuesta para el caso 2 en el marco de esta investigación.

Los resultados muestran una evidente reducción en las *temperaturas radiante y operativa*, que se producen al interior del edificio con respecto a la temperatura exterior del bulbo seco, como lo muestra la Figura 10, por otro lado también se muestra una reducción en la demanda de la energía eléctrica (kWh) por refrigeración, reducción del calor acumulado en los muros y en las particiones internas; así como una reducción de las ganancias exteriores por radiación solar en las ventana.

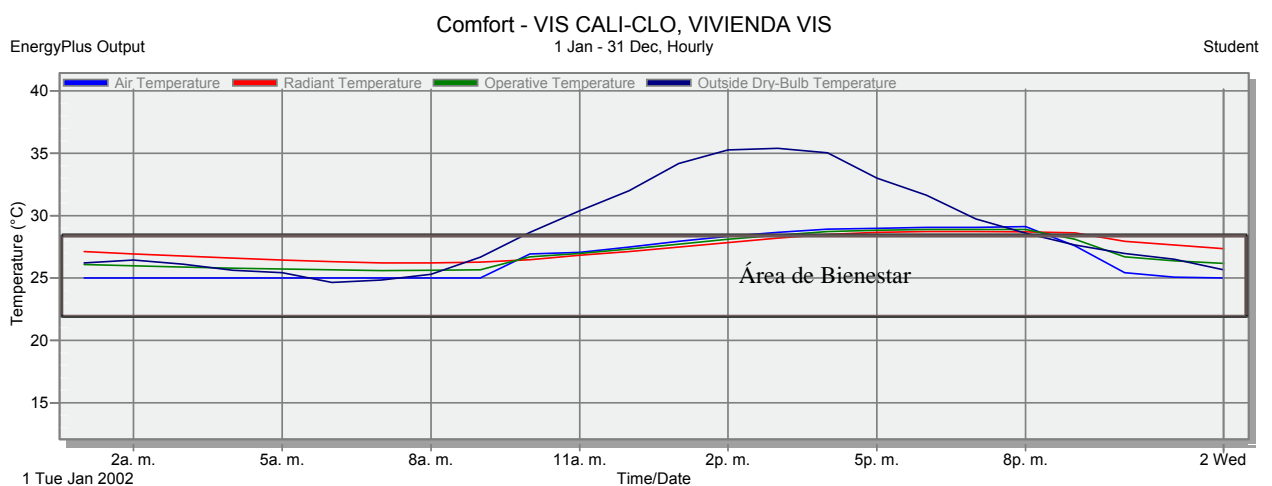


Figura 10. Resultados de temperaturas en zona de bienestar al interior de la vivienda tipo V.I.S. con estrategias de diseño bioclimático. Gráfica obtenida mediante la simulación con el programa Design Builder.

Tal y como se muestra en la tabla 6, donde se comparan las temperaturas de confort del caso 1 y del caso 2, verificamos que mientras que en el caso 1 casi el 83% de las temperaturas estaban fuera de la zona de confort, en el caso 2, el 100% de las mismas se encuentran en esta zona de confort.

| Temperaturas: aire, radiante, operativa y bulbo seco exterior. Modelo estándar V.I.S Cali-Colombia | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mes | Ene | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
| Air temperature (°C) | 27,61 | 28,10 | 28,05 | 28,33 | 28,13 | 28,14 | 28,63 | 28,46 | 28,00 | 27,51 | 27,55 | 27,48 |
| Radiant temperature (°C) | 28,90 | 29,77 | 29,66 | 30,14 | 29,72 | 29,76 | 30,53 | 30,25 | 29,53 | 28,76 | 28,76 | 28,72 |
| Operative temperature (°C) | 28,25 | 28,93 | 28,85 | 29,24 | 28,93 | 28,95 | 29,58 | 29,35 | 28,76 | 28,14 | 28,16 | 28,10 |
| Outside Dry-Bulb temperature (°C) | 28,12 | 29,58 | 29,03 | 29,50 | 28,15 | 27,98 | 29,49 | 28,75 | 28,39 | 27,60 | 27,81 | 28,02 |

| Temperaturas: aire, radiante, operativa y bulbo seco exterior. Modelo estrategias diseño Bioclimático V.I.S Cali-Colombia | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mes | Ene | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
| Air temperature (°C) | 26,26 | 26,44 | 26,37 | 26,52 | 26,44 | 26,42 | 26,69 | 26,52 | 26,36 | 26,18 | 26,19 | 26,18 |
| Radiant temperature (°C) | 26,76 | 27,01 | 26,94 | 27,14 | 27,08 | 27,09 | 27,40 | 27,19 | 26,93 | 26,69 | 26,68 | 26,67 |
| Operative temperature (°C) | 26,51 | 26,72 | 26,66 | 26,83 | 26,76 | 26,75 | 27,04 | 26,86 | 26,65 | 26,43 | 26,43 | 26,42 |
| Outside Dry-Bulb temperature (°C) | 28,12 | 29,58 | 29,03 | 29,50 | 28,15 | 27,98 | 29,49 | 28,75 | 28,39 | 27,60 | 27,81 | 28,02 |

Tabla 6: Tabla comparativa de temperaturas: aire, radiante, operativa y bulbo seco exterior.

Modelo estándar (caso 1) Vs. Modelo con estrategias diseño bioclimáticas (caso 2) V.I.S.

La estrategia de diseño bioclimático empleada para mejorar la reducción de la temperatura operativa y radiante al interior de la vivienda V.I.S, fue el aislamiento: la instalación de un aislante térmico interior en fibra de vidrio con un material de baja conductividad térmica. Las características del material empleado son las siguientes:

| Valor R | Espesor | | Conductividad | |
|-------------------------------|---------|------|---------------|---------------------------|
| °F x h x ft ² /Btu | cm | pulg | W/m x °K | Btu in/ft ² °F |
| 5 | 3.8 | 1.5 | 0.043 | 0.300 |

Tabla 10: Propiedades térmicas y acústicas, aislamiento en fibra de vidrio. Tipo Gyplac o similar.

La Tabla 7 muestra la reducción en las ganancias de entrada de calor que tiende a penetrar por conducción en los muros, con la implementación de un aislamiento térmico en fibra de vidrio en el modelo del caso 2.

| Balance energético de los muros. Modelo estándar V.I.S Cali-Colombia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Hora | 1:00 | 2:00 | 3:00 | 4:00 | 5:00 | 6:00 | 7:00 | 8:00 | 9:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 | 0:00 |
| Walls (kWh) | -0,26 | -0,44 | -0,62 | -0,86 | -1,13 | -1,36 | -1,51 | -1,30 | -0,03 | 1,31 | 2,88 | 5,19 | 7,63 | 10,05 | 11,74 | 12,14 | 10,68 | 7,62 | 4,37 | 1,33 | 2,02 | 2,46 | 1,23 | 0,43 |

| Balance energético de los muros. Modelo estrategias diseño Bioclimático V.I.S Cali-Colombia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Hora | 1:00 | 2:00 | 3:00 | 4:00 | 5:00 | 6:00 | 7:00 | 8:00 | 9:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 | 0:00 |
| Walls (kWh) | 0,42 | 0,31 | 0,22 | 0,13 | 0,03 | -0,07 | -0,15 | -0,16 | 0,03 | 0,29 | 0,67 | 1,19 | 1,73 | 2,34 | 2,87 | 3,21 | 3,20 | 2,80 | 2,25 | 1,62 | 1,07 | 1,13 | 0,81 | 0,61 |

Tabla 7: Tabla comparativa de balance energético en muros. Modelo estándar Vs. Modelo con

estrategias diseño bioclimáticas V.I.S. La tabla se ha realizado por medio de resultados en Design Builder.

Los resultados evidencian la deficiencia energética del sistema constructivo empleado para los muros de la V.I.S estándar (caso de estudio 1), muros prefabricados en hormigón armado de 8 cms de espesor, y en contraste al emplear un aislamiento térmico al interior de los muros en el (caso de estudio 2), mejora notablemente las prestaciones energéticas de los muros, disminuyendo las ganancias de calor al interior de la V.I.S como lo muestra la Tabla 7.

Por otro lado la implementación del doble acristalamiento evidencia una reducción significativa de las ganancias por radiación solar a través de las ventanas, tal y como se ve en la tabla 8:

| Ganancias internas de ventanas exteriores. Modelo VIS estándar | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Mes | Ene | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
| General lighting (kWh) | 146,69 | 132,50 | 146,69 | 141,96 | 146,69 | 141,96 | 146,69 | 146,69 | 141,96 | 146,69 | 141,96 | 146,69 |
| Computer+Equip (kWh) | 213,10 | 192,48 | 213,10 | 206,23 | 213,10 | 206,23 | 213,10 | 213,10 | 206,23 | 213,10 | 206,23 | 213,10 |
| Occupancy (kWh) | 95,60 | 86,25 | 95,52 | 92,42 | 95,58 | 92,51 | 95,46 | 95,56 | 92,51 | 95,71 | 92,53 | 95,61 |
| Solar Gains | | | | | | | | | | | | |
| Exterior Windows | 1063,79 | 1049,06 | 1335,66 | 1545,05 | 1876,85 | 1907,01 | 2037,33 | 1933,24 | 1413,20 | 1195,86 | 1043,15 | 1021,40 |

| Ganancias internas de ventanas exteriores. Modelo VIS con estrategias de diseño bioclimático | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mes | Ene | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
| General lighting (kWh) | 146,69 | 132,50 | 146,69 | 141,96 | 146,69 | 141,96 | 146,69 | 146,69 | 141,96 | 146,69 | 141,96 | 146,69 |
| Computer+Equip (kWh) | 213,10 | 192,48 | 213,10 | 206,23 | 213,10 | 206,23 | 213,10 | 213,10 | 206,23 | 213,10 | 206,23 | 213,10 |
| Occupancy (kWh) | 95,58 | 86,22 | 95,51 | 92,33 | 95,54 | 92,49 | 95,30 | 95,50 | 92,45 | 95,60 | 92,51 | 95,59 |
| Solar Gains | | | | | | | | | | | | |
| Exterior Windows | 575,40 | 544,18 | 625,38 | 675,31 | 821,04 | 831,73 | 883,79 | 831,78 | 634,04 | 587,38 | 548,67 | 547,31 |

Tabla 8: Tabla comparativa de las ganancias internas por ventanas exteriores. Modelo estándar Vs. Modelo con estrategias diseño bioclimáticas V.I.S. La tabla se ha realizado por medio de resultados en Design Builder.

Así mismo, otra estrategia de diseño bioclimático implementada en el caso 2, que mejoro las prestaciones del hueco acristalado, protegiéndolo de la radiación solar y el sobrecalentamiento fueron los dispositivos de protección solar: (Parasoles verticales y horizontales): el análisis de sombreado se realizó con el fin de obtener el conocimiento general de cómo afecta la radiación solar al edificio (Figuras 11 y 12).

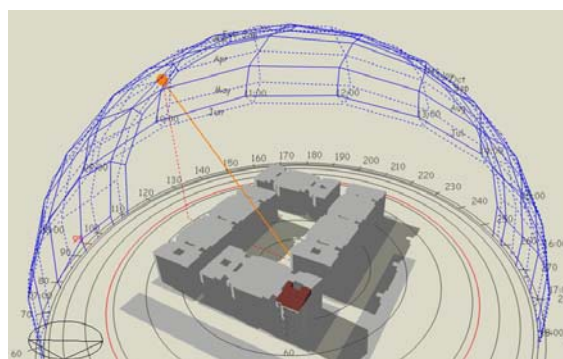


Figura 11. Diagrama solar en vivienda tipo V.I.S. para el 15 de enero 9:00 a. m. Elaboración propia.

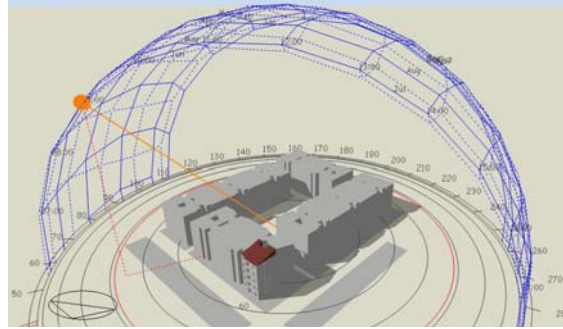


Figura 12. Diagrama solar en vivienda tipo V.I.S. para el 15 de julio 09:00 a. m. Elaboración propia.

Haciendo un análisis de las máscaras de sombra en una carta solar estereográfica para Cali-Colombia y según la posición de la vivienda V.I.S. las protecciones solares ideales son los parasoles verticales y horizontales.

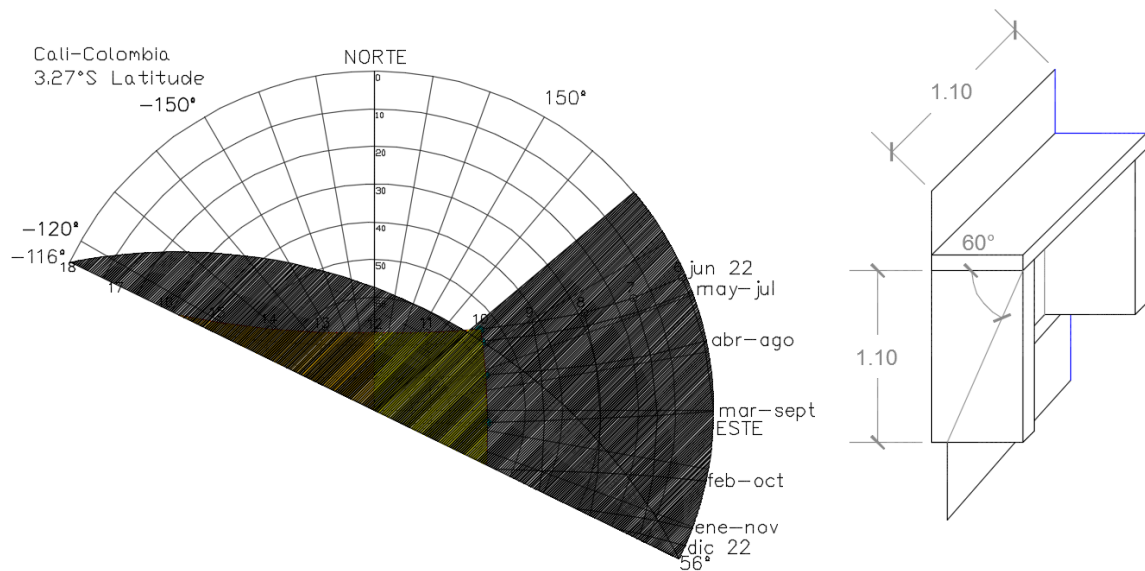


Figura 13. Máscara de sombra posicionamiento del edificio V.I.S. 154° Nor-este, carta solar estereográfica latitud 3,27° Cali-Colombia, sección AVS 60° parasol horizontal AHS 50° para ventana H: 1.10 X 1.10 mts. Elaboración propia.

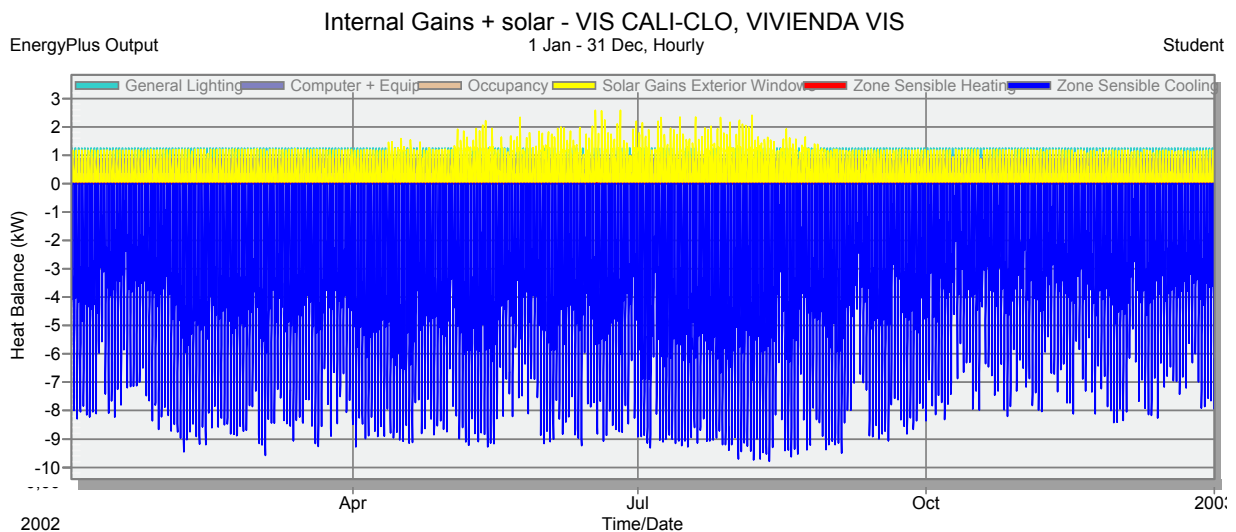


Figura 14. Ganancias internas a través de la irradiación solar por las ventanas, en la vivienda tipo V.I.S. con estrategias de diseño bioclimático. FUENTE: Gráfico resultado de simulaciones en Design Builder.

La Figura 14 muestra una reducción significativa en las ganancias internas a través de la radiación solar por las ventanas en la vivienda tipo V.I.S caso 2, que incorporo protecciones solares (parasoles verticales y horizontales) y vidrios dobles con separación de cámara de aire.

Al comparar los Casos 1 y 2, los resultados muestran una reducción en la demanda energética por necesidad de enfriamiento en el caso 2, tal y como se muestra en la Tabla 9, evidenciando la mejora de las prestaciones de la vivienda tipo V.I.S contra el sobrecalentamiento del edificio, empleando estrategias de diseño bioclimático.

| Consumos de electricidad por necesidad de enfriamiento. Modelo estándar V.I.S. | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Mes | Ene | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
| Room Electricity (kWh) | 213,10 | 192,48 | 213,10 | 206,23 | 213,10 | 206,23 | 213,10 | 213,10 | 206,23 | 213,10 | 206,23 | 213,10 |
| Lighting (kWh) | 146,69 | 132,50 | 146,69 | 141,96 | 146,69 | 141,96 | 146,69 | 146,69 | 141,96 | 146,69 | 141,96 | 146,69 |
| Cooling (Electricity) (kWh) | 2753,03 | 3181,60 | 3416,52 | 3718,43 | 3316,46 | 3214,70 | 4000,56 | 3600,92 | 3039,25 | 2639,08 | 2468,83 | 2468,03 |
| DHW (Electricity) (kWh) | 336,25 | 303,71 | 336,25 | 325,41 | 336,25 | 325,41 | 336,25 | 336,25 | 325,41 | 336,25 | 325,41 | 336,25 |

| Consumos de electricidad por necesidad de enfriamiento. Modelo estrategias de diseño bioclimático V.I.S. | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Mes | Ene | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
| Room Electricity (kWh) | 213,10 | 192,48 | 213,10 | 206,23 | 213,10 | 206,23 | 213,10 | 213,10 | 206,23 | 213,10 | 206,23 | 213,10 |
| Lighting (kWh) | 146,69 | 132,50 | 146,69 | 141,96 | 146,69 | 141,96 | 146,69 | 146,69 | 141,96 | 146,69 | 141,96 | 146,69 |
| Cooling (Electricity) (kWh) | 1893,47 | 2072,51 | 2222,55 | 2372,62 | 2161,58 | 2080,87 | 2530,02 | 2231,28 | 1964,94 | 1813,65 | 1715,91 | 1846,71 |
| DHW (Electricity) (kWh) | 336,25 | 303,71 | 336,25 | 325,41 | 336,25 | 325,41 | 336,25 | 336,25 | 325,41 | 336,25 | 325,41 | 336,25 |

Tabla 9: Tabla comparativa de los consumos de electricidad por necesidad de enfriamiento.

Modelo estándar Vs. Modelo con estrategias diseño bioclimáticas V.I.S. Elaboración propia por medio de resultados en Design Builder.

4.1.3. Análisis económico.

La cuantificación económica de las diferentes estrategias de diseño bioclimático aplicadas sobre la V.I.S resulta interesante en un país donde la eficiencia energética tiene un potencial de desarrollo alto debido a la futura demanda de materiales, productos y consumo energético elevado por la construcción de viviendas.

La cuantificación económica de la incorporación el aislante térmico al interior de la vivienda aproximadamente podría ser tal y como se muestra en la Tabla 10:

| ITEM | DESCRIPCIÓN | UND. | CANT. | VR. UNIT. | VR. TOTAL |
|-------|--|------|-------|-----------|------------------|
| 1 | EDIFICIO VIS | | | | |
| 1.1 | SUMINISTRO E INSTALACION DE MUROS PLADUR CON AISLAMIENTO TÉRMICO | | | | |
| 1.1.1 | Suministro e instalación de muros en pladur (1 cara) con aislamiento Térmico en fibra de vidrio R-5. | M2 | 78,70 | 45.000 | 3.541.500 |
| | SUBTOTAL | | | | 3.541.500 |

| | | |
|-------------------|-----|------------------|
| coste directo | | 3.541.500 |
| coste indirecto | 10% | 354.150 |
| Total obra | | 3.895.650 |

Pesos Colombianos

| | |
|-------------------|--------------|
| Total obra | 1.137 |
|-------------------|--------------|

Euros

Tabla 10: Cuantificación económica suministro e instalación de muros en pladur con aislamiento térmico V.I.S. Elaboración propia con datos de suministros y mano de obra local.

Por otro lado las protecciones del hueco acristalado: el coste económico de estos elementos de protección solar en concreto sería:

| ITEM | DESCRIPCIÓN | UND. | CANT. | VR. UNIT. | VR. TOTAL |
|-------|--|------|-------|-----------|------------------|
| 1.0 | FACHADA VIS | | | | |
| 1.1 | SUMINISTRO E INSTALACION DE PARASOLES VERTICALES Y HORIZONTALES | | | | |
| 1.1.1 | Panel arquitectónico de hormigón armado, de 10 cm de espesor, 0,50 m de anchura máxima, compuesto por cemento, agregados de granulometría seleccionada, malla electrosoldada y barras de refuerzo de acero. | M2 | 8,20 | 166.345 | 1.364.029 |
| 1.1.2 | Repercusión, por m² de fachada de panel arquitectónico de hormigón armado, de piezas especiales y elementos metálicos para conexión entre paneles y entre paneles y elementos estructurales, limpieza e imprimación de la junta, y sellado de juntas en el lado exterior con silicona neutra sobre cordón de espuma de polietileno expandido de celda cerrada. | Und. | 8,00 | 6.931 | 55.448 |
| 1.1.3 | Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 t y 27 m de altura máxima de trabajo. | Hr | 1,20 | 130.641 | 156.769 |
| 1.1.4 | Oficial 1ª montador de paneles prefabricados de concreto. | Hr | 2,24 | 11.654 | 26.105 |
| 1.1.5 | Ayudante montador de paneles prefabricados de concreto. | Hr | 2,24 | 7.658 | 17.154 |
| | SUBTOTAL | | | | 1.619.505 |

| | | |
|-------------------|-----|------------------|
| coste directo | | 1.619.505 |
| coste indirecto | 10% | 161.951 |
| Total obra | | 1.781.456 |

Pesos Colombianos

| | |
|-------------------|------------|
| Total obra | 520 |
|-------------------|------------|

Euros

Tabla 11: Cuantificación económica suministro e instalación de parasoles verticales y horizontales para fachada en panel arquitectónico de hormigón armado V.I.S. Elaboración propia con datos de suministros y mano de obra local.

Los acristalamientos dobles son aislantes a la conducción, formados por dos lunas separadas por una cámara de aire. El coste económico de estos vidrios aislantes sería:

| ITEM | DESCRIPCION | UND. | CANT. | VR. UNIT. | VR. TOTAL |
|-------|---|------|-------|-----------|------------------|
| 1 | EDIFICIO VIS | | | | |
| 1.1 | Suministro y colocación de doble acristalamiento. | | | | |
| 1.1.1 | Doble acristalamiento templado, de baja emisividad térmica, conjunto formado por vidrio exterior de baja emisividad térmica de 4 mm, cámara de aire deshidratada con perfil separador de aluminio y doble sellado perimetral, de 12 mm, y vidrio interior templado, de color azul de 6 mm de espesor. | M2 | 6,10 | 202.632 | 1.236.055 |
| 1.1.2 | Cartucho de silicona sintética incolora de 310 ml (rendimiento aproximado de 12 m por cartucho). | UND. | 6,00 | 5.452 | 32.712 |
| 1.1.3 | Material auxiliar para la colocación de vidrios. | UND. | 6,00 | 2.839 | 17.034 |
| 1.1.4 | Oficial 1ª cristalero. | HR | 6,00 | 12.177 | 73.062 |
| 1.1.5 | Ayudante cristalero. | HR | 6,00 | 8.271 | 49.626 |
| | SUBTOTAL | | | | 1.408.489 |

| | | |
|-------------------|----|------------------|
| coste directo | | 1.408.489 |
| coste indirecto | 5% | 70.424 |
| Total obra | | 1.478.914 |

Pesos Colombianos

| | |
|-------------------|------------|
| Total obra | 432 |
|-------------------|------------|

Euros

Tabla 12: Cuantificación económica suministro e instalación de doble acristalamiento V.I.S.**Elaboración propia con datos de suministros y mano de obra local.**

El coste total de las tres estrategias bioclimáticas implementadas en la vivienda V.I.S sería:

- Suministro e instalación de muros en pladur con aislamiento térmico: **\$3.895.650 PESOS COLOMBIANOS. (1.137 EUROS).**
- Suministro e instalación de parasoles verticales y horizontales en fachada V.I.S: **\$1.781.456 PESOS COLOMBIANOS. (520 EUROS).**
- Suministro e instalación de doble acristalamiento en fachada V.I.S: **\$1.408.489 PESOS COLOMBIANOS. (432 EUROS).**

COSTE TOTAL ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS: \$7.156.020 PESOS COLOMBIANOS. (2.089 EUROS).

El precio de La vivienda V.I.S estándar es de **\$45.104.500 PESOS COLOMBIANOS ó 15.770 Euros** sin estrategias de diseño bioclimático, si le aplicamos el valor de las estrategias bioclimáticas quedaría en **\$52.260.520 PESOS COLOMBIANOS ó 17.850 Euros**, Esto representa un sobre costo en la vivienda del **16%**, un valor bastante aproximado según la revisión de la literatura con respecto a estos incrementos en relación con los componentes arquitectónicos bioclimáticos.

Sin embargo los resultados demuestran una reducción significativa por ejemplo en las necesidades de enfriamiento al interior de las viviendas con el empleo de estrategias bioclimáticas y esto representaría un ahorro significativo y podría hacer un retorno del sobre costo en la vivienda. A modo de ejercicio general podríamos hacerlo así:

| Consumos de electricidad por necesidad de enfriamiento. Modelo estándar V.I.S. | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Mes | Ene | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
| Cooling (Electricity) (kWh) | 2753,03 | 3181,60 | 3416,52 | 3718,43 | 3316,46 | 3214,70 | 4000,56 | 3600,92 | 3039,25 | 2639,08 | 2468,83 | 2468,03 |
| Consumos de electricidad por necesidad de enfriamiento. Modelo estrategias de diseño bioclimático V.I.S. | | | | | | | | | | | | |
| Mes | Ene | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
| Cooling (Electricity) (kWh) | 1893,47 | 2072,51 | 2222,55 | 2372,62 | 2161,58 | 2080,87 | 2530,02 | 2231,28 | 1964,94 | 1813,65 | 1715,91 | 1846,71 |
| Ahorro (Electricity)(kWh) | 859,56 | 1109,09 | 1193,97 | 1345,81 | 1154,88 | 1133,83 | 1470,54 | 1369,64 | 1074,31 | 825,43 | 752,92 | 621,32 |
| Total ahorro (Kwh) | 12911,30 | | | | | | | | | | | |

Tabla 13: Tabla comparativa de los consumos de electricidad por necesidad de enfriamiento.

Modelo estándar Vs. Modelo con estrategias diseño bioclimáticas, ahorro energético kWh mensual

V.I.S. Elaboración propia por medio de resultados en Design Builder.

El total del ahorro en enfriamiento (Electricidad) sería: 12.911 kWh, según la asociación Colombiana de Generadores Energía Eléctrica (ACOLGEN), el precio del kWh en Colombia a Agosto del 2015 se encuentra en \$157.39 pesos colombianos, dicho precio multiplicado por el ahorro nos daría: 12.911 kWh x \$157.39= \$2.032.062 pesos colombianos x un año.

En este sentido necesitaríamos aproximadamente poco más de tres años para recuperar la inversión en los elementos arquitectónicos bioclimáticos incorporados para mejorar las prestaciones energéticas y de confort en la vivienda V.I.S. en este caso de estudio, se podrían estudiar otras estrategias y probar diferentes materiales más económicos y con iguales o mejores prestaciones térmicas como en el caso de los aislamientos.

5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Los resultados mostrados por las simulaciones a través del programa Design Builder permitieron identificar, que el sistema constructivo con muros prefabricados en hormigón reforzado empleado en la VIS en Cali-Colombia no es particularmente adecuado para esta zona climática, debido a que permiten el ingreso del calor, absorben energía y elevan la temperatura interior como muestra la Figura 15.

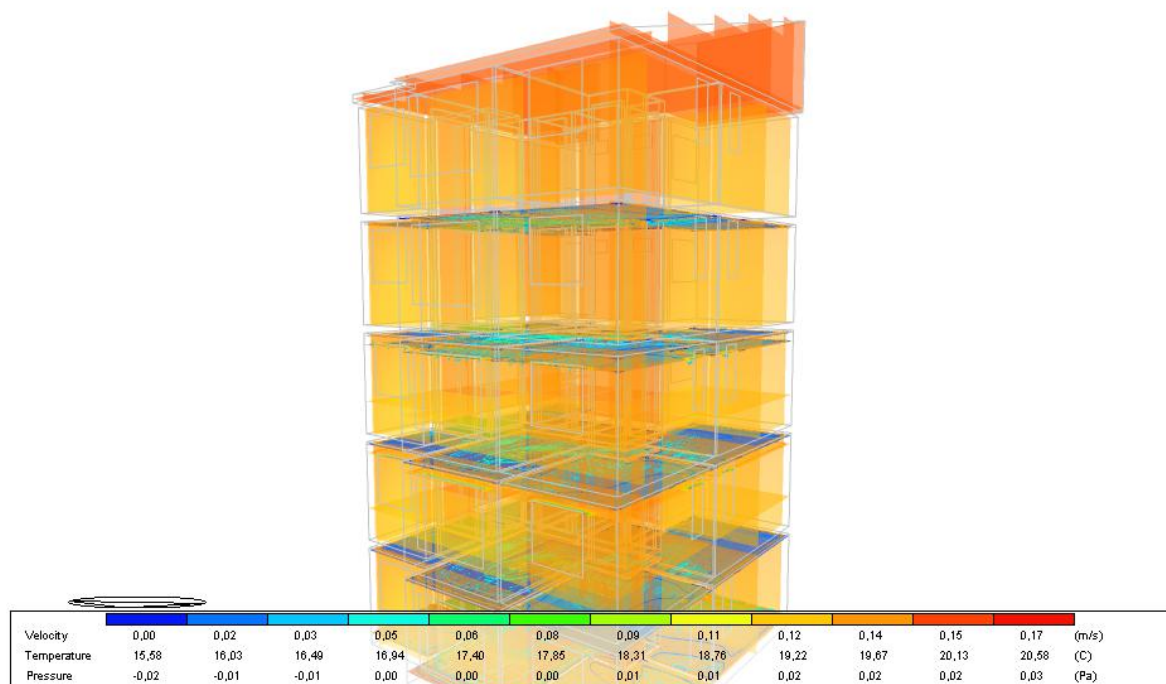


Figura 15: Dinámica de fluidos: distribución de temperaturas en los muros, vivienda VIS estándar.

Además las ventanas que se utilizan para el salón, dormitorios y espacio de uso múltiple con vidrio sencillo e incoloro, no son las adecuadas para este tipo de viviendas ya que permiten grandes ganancias solares por irradiación al interior de la vivienda, aportando también al incremento de la temperatura en el interior de los espacios.

También las fachadas totalmente planas no son las más indicadas, debido a la incidencia del ángulo de la radiación solar como lo muestran los estudios de sombreado, permitiendo la radiación solar directa en algunas horas del día e incrementando el sobrecalentamiento al interior de la vivienda.

Por todos estos condicionamientos la vivienda del caso de estudio VIS estándar expone un discomfort térmico al interior de las viviendas, haciendo necesaria la utilización diaria de medios mecánicos de climatización artificial como ventiladores y equipos de Aire Acondicionado que afectan la economía y calidad de vida de sus habitantes.

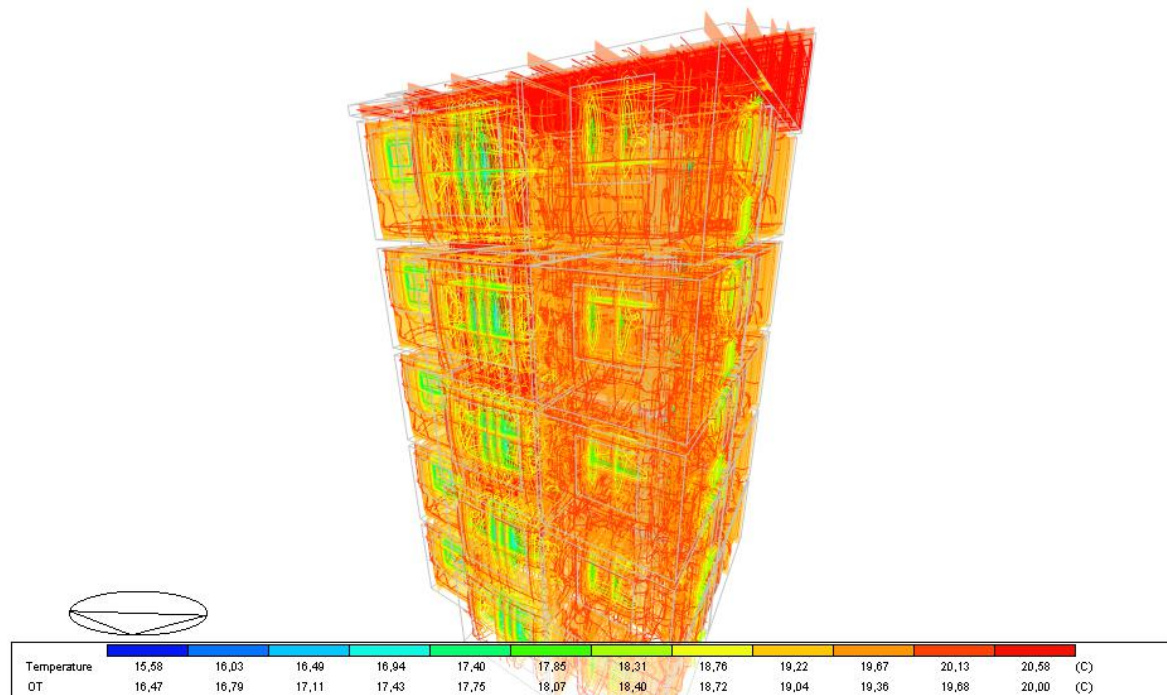


Figura 16: Dinámica de fluidos: contornos de temperatura operativa exterior e interior vivienda VIS estándar.

Sin embargo las simulaciones de la configuración del edificio V.I.S empleando estrategias de diseño bioclimático (caso 2) evidencian una mejora significativa en el sobrecalentamiento de la vivienda VIS, que representa el mayor condicionante para estos tipos de clima cálido-húmedo, en latitudes medias (Figura 16).

La mejora en las temperaturas (Temp. Radiante y Operativa) al interior de la vivienda es significativa con la implementación del aislamiento térmico en los muros prefabricados de concreto en la V.I.S, este condicionamiento repercute positivamente en las necesidades de refrigeración y evidencia una disminución de la misma, también las otras estrategias de diseño bioclimático aplicadas mejoran notablemente el sobrecalentamiento del edificio, como son las protecciones solares: parasoles verticales y horizontales, además de la utilización de un doble acristalamiento con cámara de aire.

5. Conclusiones

La V.I.S para el (caso 1) tiene un 33 % más, de necesidades de refrigeración en comparación con el (caso 2), según los ensayos efectuados a través de las simulaciones energéticas, evidenciando insuficiencia energética en sus componentes: la envolvente (muros), los huecos acristalados, cubierta y materiales.

La V.I.S para el (caso 2) con la implementación del aislamiento térmico en los muros evidencia una reducción del 60 % de la carga energética al interior del edificio.

La V.I.S para el (caso 2), aplicó un correcto sombreamiento de los huecos acristalados (parasoles verticales y horizontales), además de un doble acristalamiento en sus ventanas, eliminando el 52% de la carga solar a través de los huecos, lo que puede representar el 26% de la carga de refrigeración.

Desde el punto de vista económico la implementación de estrategias de diseño bioclimático (caso 2), representarían un sobre costo del 16% del total de la vivienda V.I.S. , sin embargo esta inversión se recuperaría en un lapso de 3 años, debido al ahorro energético por necesidades de refrigeración que es del 33%.

Por todo esto el (caso 2) ofrece una mejora de la eficiencia energética en la V.I.S. logrando el confort térmico al interior de la vivienda para los usuarios, además de potencializar un ahorro económico a mediano plazo y garantizando la sostenibilidad del edificio, esto con la aplicación de tres estrategias de diseño bioclimático que podrían convertirse en más, si quisiéramos hacer otros estudios, lo que valida la hipótesis de partida para esta investigación.

6. Referencias

- Ballén. (2009). *Vivienda social en altura tipologías urbanas y directrices de producción en bogotá*. (Unpublished).
- Bedoya, M. (2011, Viviendas de interés social y prioritario sostenibles en colombia – VISS y VIPS – sustainable social and priority housing in colombia.
- Clarke, H. (2015). Integrated building performance simulation: Progress, prospects and requirements. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.002>
- Crawley, H.,. (2008). CONTRASTING THE CAPABILITIES OF BUILDING ENERGY PERFORMANCE SIMULATION PROGRAMS.
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana / Unión Temporal Construcción Sostenible S.A y Fundación FIDHAP (Consultor). – Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible,. (2012). ().
- Cuchí, A. (2010). El cambio climático como paradigma y motor de cambio.
- Chowdhury, R. (2010). Analysis of building systems performance through integrated computation fluid dynamics technique.
- DANE. (2015). *Vivienda VIS y no VIS IV trimestre 2014*. (). Bogotá D.C.:
- Diario La República Colombia. (2013). Retrieved from <http://www.larepublica.co/>
- Escallón , C. (2012). La vivienda de interés social en colombia, principios y retos the social housing in colombia, principles and challenges.

- Gagliano, A., Nocera, F., Patania, F., & Capizzi, G. (2013). A case study of energy efficiency retrofit in social housing units. doi:10.1016/j.egypro.2013.11.029
- Giménez, M. (2011). *Alternativas para la mejora de la eficiencia energética de los acristalamientos: Los vidrios dinámicos*
- Hanan, T. (2014). Using passive cooling strategies to improve thermal performance and reduce energy consumption of residential buildings in U.A.E. buildings. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foar.2014.01.002>
- International Energy Agency. (2015). IEA online data service. Retrieved from <http://data.iea.org/ieastore/statslisting.asp>
- IPCC. (2014). IPCC, 2014: Climate change 2014: Mitigation of climate change. *contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Retrieved from <http://www.ipcc.ch/index.htm>
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer et al.]. (2014).
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. (2014). **Fifth assessment report (AR5)** Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>
- Lapinskien, V., & Martinaitis, V. (2013). The framework of an optimization model for building envelope. doi:10.1016/j.proeng.2013.04.085
- LEY 1715 DE 2014 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. (2014).
- Manual de ayuda DesignBuilder. (2014). *Manual de ayuda DesignBuilder en español versión del programa: 4 / versión del manual 2014.12.03*
- Neila. (2004). *Arquitectura bioclimática*
- Solar Decathlon Latin America & Caribbean. (2015). Solar decathlon para américa latina y el Caribe LAC2015. Retrieved from <http://www.solardecathlon2015.com.co/index.php/es/>
- UN HABITAT. (2010). Informe anual 2010. Retrieved from <http://unhabitat.org/books/informe-anual-2010-annual-report-2010-spanish-language-version/>

Correspondencia (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: D. Carlos Andrés Giraldo Ocampo

Teléfono: + 57 3122988050

Fax: +

E-mail: ca.giraldo@alumnos.upm.es